

Bagdi Zsolt,¹ Bakó Gábor²

Repülőterek felmérése, elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés

A repülési ágazat fejlődése folyamatos jellegű. A repülésbiztonság egyik alappillére az akadály-adatokat tartalmazó adatbázis, amelyet a nemzetközi irányelveknek megfelelően nem elég csupán tartani, hanem fokozni is kell annak megbízhatóságát. A legmodernebb technológiák ehhez nagymértékben hozzájárulnak. Ilyen például az elektronikus terep- és akadály-adatgyűjtés, angol nyelven és rövidítve eTOD (electronic Terrain- and Obstacle Data Collection). A folyamat alapja merevszárnyú repülőgéppel történő légi távérzékelés. A repülőgéppel gyűjtött adatokból előállított pontfelhő és a geoinformatikai szoftverek segítségével kinyert információk a szigorúan definiált terep- és akadályadatok adatbázisaiba rendezhetők, amelyek jellegét olyan nemzetközi szabványok és dokumentumok szabályozzák, amelyeknek megfelelően nemzetközi szinten alkalmazható lesz az akadály-adatbázis. Az adathalmazokra nemcsak amiatt van szükség, mert rendeletek megkövetelik azok meglétét, hanem azért, mert különféle repülőgépes eljárások tervezésének alapját képezik, és nagymértékben hozzájárulnak a biztonságos légi közlekedéshez.

Kulcsszavak: ICAO, repülőtér, AIP, eTOD, akadály, ADQ, repülőtér felmérés, OLS

Airport Survey, Electronic Terrain and Obstacle Data Collection

The development of the aviation sector is continuous. One of the pillars of aviation safety is the database containing obstacle data, which, in accordance with international guidelines, is not only to be maintained, but also its reliability is to be improved. State-of-the-art technologies contribute greatly to this, for example electronic Terrain and Obstacle Data Collection (eTOD). The process is based on remote sensing of a fixed wing aircraft. The point cloud generated from aircraft and GIS information can be organised into strictly defined terrain- and obstacle databases, governed by international standards and documents, that will make the obstacle database applicable internationally. These data sets are needed not only because regulations require their existence, but also because they form the basis for the design of various flight procedures and make a major contribution to aviation safety.

Keywords: ICAO, Airport, AIP, eTOD, obstacle, ADQ, airport survey, OLS

¹ Ügyvezető igazgató, Erenfield Consulting Kft; e-mail: zsolt.bagdi@erenfield.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3467-7995>

² Ügyvezető igazgató, Interspect Kft; e-mail: bakogabor@interspect.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3649-6007>

1. Bevezetés

Az ICAO- (*International Civil Aviation Organization*) tagállamok valamennyi repülőterének nagyszámú előírásnak kell megfelelnie. Például a fizikai berendezések működése, a futópályák és felületek minősége és felfestése, vagy a repülőtér körzetében lévő akadályobjektumok kezelése.³ Akadály lehet fix vagy mobilis tárgy is. Sok repülőtér mellett halad például főút vagy vasútvonal. A futópálya meghosszabbított középvonalának körzetében közlekedő magas járművek, ha ideiglenesen is, de akadályokként viselkednek, így előfordulásukat, űrszelvényüket az adatbázis szintén rögzíti.⁴ Fix objektumok lehetnek például fák, épületek, tornyok, de ide tartoznak a domborzat kimagasodó részei is. Utóbbit hívjuk terepakadálynak.⁵ Légi távérzékelés nélkül a jelenlegi követelményeknek nehéz megfelelni, hiszen több száz m²-nyi területet kell „átvizsgálni” és minden akadályt begyűjteni.⁶

Jelen cikkben a Debreceni Nemzetközi Repülőtér számára készített felmérésünk és adatbázisuk tapasztalataiból ismertetünk. A munka során a repülőtér Runway Strip téglalap alapú területe mentén kiindulva, 10 km-es körzetében gyűjtöttük a repülési akadályokat, nemzetközi jogszabályoknak és előírásoknak megfelelően (1. ábra).⁷ Az eljárások tervezésében a 2.5D-t egyre inkább ki fogja váltani a 3D.⁸ Ezért nagy jelentősége van a jövő kihívásainak is megfelelő adatgyűjtésnek.⁹

2. Módszer

A kutatás a Debreceni Nemzetközi Repülőtér felmérésének tapasztalatain alapul, amely a város déli területén fekszik (ARP WGS 84 koordináta: 472920N 0213655E).

Az ICAO-dokumentumokban leírt, megkövetelt numerikus kritériumokat ki kellett elégténnünk (pontosság, felbontóképesség, integritási követelmények). A terület több kisebb részegységre bontandó. A terület felosztását a repülőtér futópályája határozza meg. A megközelítés irányában, tehát a futópálya középvonalának hosszabbításában található térszögekben az akadályok besorolása szigorúbb magassági előírásokon alapul, ugyanis a légi járművek ezen területek fölött repülnek rendszeresen. A futópálya középvonalra merőleges, tehát oldalirányban elhelyezkedő „areák” más kritériumokon alapuló adatgyűjtést tesznek lehetővé.

³ *Annex 15*. Montreal, Canada, International Civil Aviation Organization, ICAO, 2018c; *Annex 14, Volume I*. International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada, 2013.

⁴ *Annex 11, Air Traffic Services*. International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada 2011; *Annex 5, Units of Measurement to be Used in the Air and Ground Services*. International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada 2010.; *Annex 14, Volume I*. i. m. (1. lj.); *Annex 15*. i. m. (1. lj.)

⁵ *Guidelines for Electronic Terrain, Obstacle and Aerodrome Mapping Information ICAO Doc 9881*.; *Aeronautical Information Services Manual*. International Civil Aviation Organization, ICAO Doc 8126, 2003; *World Geodetic System – 1984 (WGS-84) Manual*. International Civil Aviation Organization, ICAO Doc 9674, 2002; *Terrain and obstacle data manual*. European Organization for the Safety of Air Navigation, Brussels, Eurocontrol, 2015.

⁶ *Terrain and obstacle data collection surfaces*. International Civil Aviation Organization, 2017. Elérhető: www.researchgate.net/figure/Obstacle-Limitation-Surfaces-OLS-Source_fig3_309358595 (A letöltés dátuma: 2019. 02. 09.)

⁷ ICAO Doc 9881 i. m. (3. lj.); ICAO Doc 9674 AN/946 i. m. (3. lj.); ICAO Doc 8126 AN/872 i. m. (3. lj.); *Terrain and obstacle data manual* i. m. (3. lj.)

⁸ *Terrain and obstacle data manual* i. m. (3. lj.)

⁹ *EUROCONTROL Specification for Electronic Aeronautical Information Publication*. EUROCONTROL-SPEC – 146, 2015.

Table A8-1. Terrain data numerical requirements

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
Post spacing	3 arc seconds (approx. 90 m)	1 arc second (approx. 30 m)	0.6 arc seconds (approx. 20 m)	0.3 arc seconds (approx. 9 m)
Vertical accuracy	30 m	3 m	0.5 m	1 m
Vertical resolution	1 m	0.1 m	0.01 m	0.1 m
Horizontal accuracy	50 m	5 m	0.5 m	2.5 m
Confidence level	90%	90%	90%	90%
Integrity classification	routine	essential	essential	essential
Maintenance period	as required	as required	as required	as required

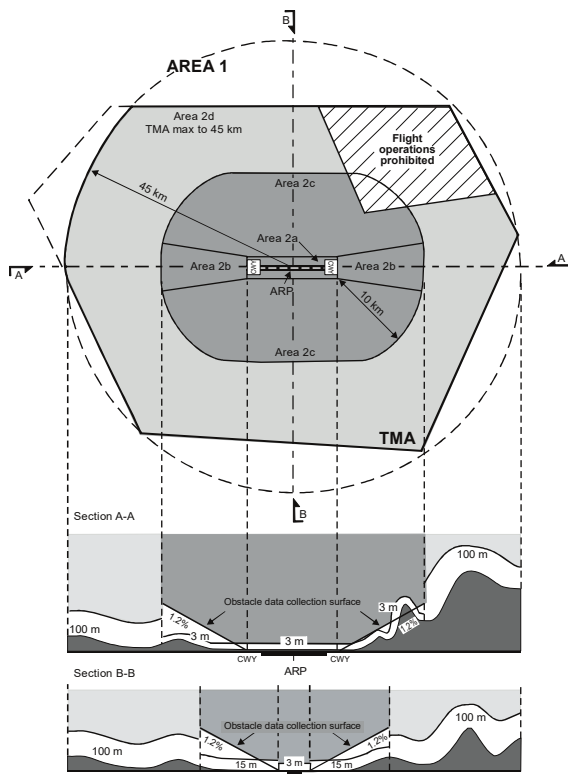
1. ábra

Terepakadály-adatok numerikus követelményei valamennyi területen. Forrás: Terrain data numerical requirements. Annex 15, Appendix 8, Table A8-1, Montreal, Canada, International Civil Aviation Organization, ICAO, 2018.

A légi távérzékeléshez merevszárnyú repülőgépet alkalmaztunk, belső elhelyezésű digitális mérőkamerával, D-GPS/ins által biztosított direkt tájékoztatási adatgyűjtő rendszerrel. A pontfelhő és a felvételek 2018. februárjában készültek, amikor a besugárzás mértéke optimális volt a passzív optikai távérzékeléshez, légi fotogrammetria alkalmazásához. A közel 320 négyzetkilométeres terület szakszerű lerepülését két nap alatt sikerült teljesítenünk folyamatosan egyeztetve az AFIS- (*Aerodrome Flight Information Service*) szolgálatokkal. A légi felvételezés a nyújtott kör alakú terület fölött (2. ábra) speciális légijármű-irányítást követelt meg, amelyet a precíziós repülésekben szakavatott pilótánk hajtott végre.

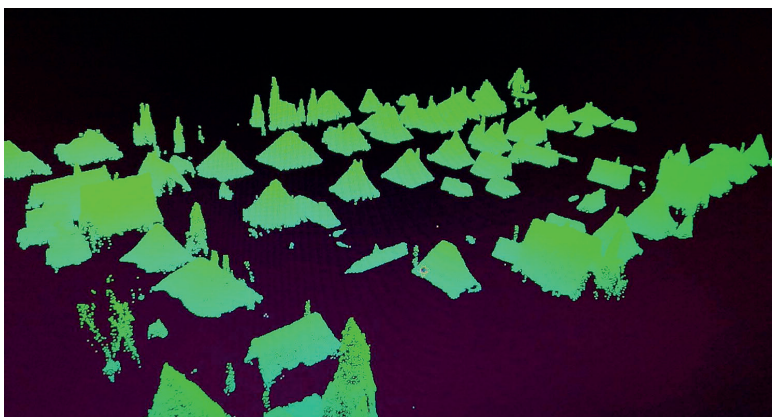
A repülőtér és definiált körzetében több mint 20 terület, több mint 20 felületét szerkesztettük térinformatikai szoftverben. Eredményül több mint 30 adatbázist kaptunk, amelyben helyet foglaltak a gyűjtött terep- és akadályadatok, valamint azokat az adatbázisokat is feltöltöttük, amelyek adathalmazai meghatározzák a repülőtér térségében lévő, potenciálisan veszélyes objektumokat. Mindemellett a gyűjtési területhez tartozott hazánk második legnagyobb városa is. Debrecen majdnem teljes egészében része a felmérendő területnek. A pontfelhőszűrés eredményeként hozzájutunk a felületek fölötti pontokhoz, ezáltal ki tudjuk értékelni a terep- és akadályobjektumokat és azok metaadatait (3. ábra). A komplex (terepi felméréssel kiegészített automatizált pontfelhőszűrés és manuális térfotogrammetriai kiértékelési) adatgyűjtési módszertan különböző felbontású és módszerű légi távérzékelési eljárásokkal történő kivitelezésének megbízhatósági eredményeit korábbi cikkeinkben publikáltuk.¹⁰

¹⁰ Gábor Bakó et alii: The GSD dependency of the eTOD photogrammetric survey. *CEAS Aeronautical Journal*, 11. (2020), 1. 137–143.



2. ábra

Repülőtér-specifikus, néhány gyűjtési terület felülnézeti rajza a 10 és 45 km-es körzetben. Forrás: Coverage areas and requirements for data provision. Annex 15, Chapter 10.1, Montreal, Canada, International Civil Aviation Organization, ICAO, 2018.



3. ábra

Pontfelhő, szoftverben törtéző vágása utáni állapot, amely tükrözi az akadályok meglétét. Forrás: a szerzők szerkesztése

3. Eredmények

Előzetes felmérésekből láthattuk (például a Szegedi Repülőtér számára készített adatbázisunk tapasztalataiból), hogy csupán a terepi geodézia alkalmazása nem garantálja az akadályok biztonságos gyűjtését.

A több mint öt hónapig tartó debreceni munkavégzés eredményeképp, az adatbázisba pluszban bekerült sok ezer terep- és akadályobjektum. A repülések által generált pontfelhő és a kidolgozott módszer alkalmazása eredményezte a térségben mintegy 5500 akadály adatbázisba gyűjtését, ami a korábbi adatbázisokhoz hasonlóan nagyságrendekkel pontosabb adatokat szolgáltatott a légiforgalmi irányító szolgálatok irányába. Érdemes volt utánajárni, hogyan lehet ekkora különbség a korábbi akadály-adatgyűjtések során feltárt akadályok száma, és jelen felmérés sokszorosán több akadálytalálata között. Számos olyan terep- és akadályadat gyűjtése történt meg, amelyeket csupán hagyományos terepi geodéziával – helyszíni tapasztalatainkra hagyatkozva, illetve a korábbi adatbázisok hiányosságaira alapozva – nem lehetett volna felmérni. Ily módon a közel 320 km²-es terület felmérése számos komplikációt eredményezne. Ilyen például az objektumok takarása, a földfelszínről nem látható akadály-csúcspontok és akadályegyüttesek bemérése, valamint a nehezen megközelíthető helyszíneken hiányosnak tapasztalt terepi adatbázisok. Az optimális megoldás a légi távérzékelés és utólagos terepi geodéziai mérések együttes alkalmazása a munkavégzés során.

A délnyugati pályavégnél a felület kezdőmagasságát követően csak néhány akadály található. Ennek magyarázata a domborzat tengerszint feletti magasságának csökkenése. Így az objektumok magassága nem haladta meg a felületek magasságát, azaz nem metszették azokat, így e felületek és területek adatbázisai jóval kevesebb akadályt tartalmaztak. A Debreceni Nemzetközi Repülőtér esetében az északkeleti futópálya küszöb feletti megközelítési területek a domborzat emelkedésének köszönhetően jóval több akadályt emelnek a felületek fölé, mint az átellenes oldalon tapasztalható. Az egyes területek fölötti akadályfelületek kezdő magassága fix és maguk a felületek nem domborzatkövetők, így az akadályelfordulási sűrűség viszonylag homogén felszínborítás mellett is változhat. Az objektumok száma megnőtt a domborzat tengerszint feletti magasságának növekedésével. Így eredményezte ez közel 5500 akadály adatbázisokba integrálását. A felbontóképességnek, pontosságának és egyéb vonatkozó numerikus követelményeknek való megfelelést is ezzel a technológiával tudtuk elérni. 40% sávok közötti és 70-90% felvételek közötti átfedést és 3, 5, 7,5, 10 cm-es térbeli felbontást alkalmazva, 0,5 km² és 0,4 km² méretű mintaterületen teszteltük az alkalmazott módszert. A merevszárnyú repülőgép 220–340 km/h sebességtartományban és 640–860 méteres magasságtartományban gyűjtötte az adatokat.

A folyamat során kijelöltük a vonatkozó akadálykorlátozási felületeket is. E felületek részadatbázisai tartalmazzák azokat az akadályokat, amelyeket elemeztünk. Ugyanis az az akadály, ami metsz valamilyen releváns akadálykorlátozási felületet, könnyen lehet a repülésre potenciálisan veszélyt jelentő objektum. További vizsgálat szükséges az akadályjelzés megléte szempontjából. Akadály festése, zászlóval jelölése és akadályfény használata. Kutatásunk eredménye igazolja azt, hogy optimális távérzékelési módszer megválasztása nélkül az adatbázisok nagy valószínűséggel hiányosak lehetnek. Tőlünk független korábbi felmérés eredményezte azt a 9 akadályt, ami előzetes adatbázisokban szerepelt. Ezzel szemben, terepi geodézia és légi távérzékelés együttes alkalmazása generálta azt a 276 darab akadályobjektumot, amelyeket az akadálykorlátozási felületek alatt gyűjtöttünk be. A különbség szignifikáns (1. táblázat).

Megállapítható, hogy a nagy felbontású fotogrammetriai kiértékelés és a kombinált módszer (automatizált és manuális légi fotogrammetria és ellenőrző terepi geodézia) a legmegbízhatóbb módszernek tekinthető amellett, hogy jelen pillanatban a technológia használata ekkora területeken gazdaságos és időhatékony.

1. táblázat

Korábbi és jelen kutatás tárgyát képző, akadálykorlátozási felületek adatbázisainak összehasonlítása. (A táblázatban „-” jelölés esetén az adott felület adatbázisát nem közölték.) Forrás: Korábbi, más szervezet által végzett akadály-adatgyűjtés és jelen kutatás tárgyát képző, akadálykorlátozási felületek adatbázisainak összehasonlítása

	Korábbi adatbázis (darab)	Jelenlegi adatbázis (darab) (légi fotogrammetria + terepi geodézia)
Megközelítési felület(ek)	5 akadály	34 akadály
Kúpos felület	1 akadály	6 akadály
Belső vízszintes felület	2 akadály	37 akadály
Átmeneti felület(ek)	1 akadály	36 akadály
Felszállási emelkedési felület	-	156 akadály
Belső átmeneti felület(ek)	-	2 akadály
Megszakított megközelítési felület	-	0 akadály
Belső megközelítési felület	-	5 akadály
Külső vízszintes felület	-	0 akadály

4. Következtetések

Optimális időjárású és besugárzási körülmények mellett az itt bemutatott eszközökkel 5 cm GSD-vel (*Ground Sampling Distance*) képesek vagyunk megközelítőleg mintegy 350 m²-nyi területet biztonsággal felmérni. Szubszonikus repülőgéppel (tipikusan 500–1000 km/h) ez a terület 1000 km²-re is növelhető. Modern digitális CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*) kamerák segítségével és relatíve magas repülési sebesség mellett, FMC (kameraberendezést exponáláskor visszasiklató, mozgáskompenzáló mechanizmus) és TDI (digitális képstabilizátor) nélkül is éles, legalább 5 cm terepi felbontású felvételek érhetőek el.

A munkánk során bizonyosodott, hogy az alkalmazott légi távérzékelés alkalmazása nagyságrendekkel pontosabb és nagyobb repülésiakadály-adatbázisokat szolgáltat. A differencia a hagyományos terepi geodéziai adatbázis és a kombinált (terepi geodézia és légi távérzékelés) gyűjtési módszer adatbázisában szereplő akadályok mennyisége között, több mint 30-szoros. A magassági rálátás eredményezte, hogy adott esetben olyan potenciálisan veszélyes akadályokat is sikerült begyűjtenünk, amelyeket a terepi és kulturális adottságokból fakadóan igencsak nehéz lett volna észlelni vagy éppen könnyűszerrel a mérést végző személyzet figyelmét is elkerülni. Ez a repülési ágazatban elképzelhetetlen, hiszen a cél a mindenkor repülésbiztonság fenntartása és annak folyamatos fokozása a gazdasági és időtényezőt is figyelembe véve. A közös módszerrel az együttműködő Erenfield Consulting Kft. és az Interspect Kft. az akadály-adatbázist Magyarországon is sikeresen elkészítette két repülőterre, amelyet a légiforgalmi irányító szolgálat dolgozott fel és tett elérhetővé érvényes, nemzetközi adatbázisokban.

Felhasznált irodalom

- Annex 5, Units of Measurement to be Used in the Air and Ground Services.* International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada 2010.
- Annex 11, Air Traffic Service.* International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada 2011.
- Annex 14, Volume I.* International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada, 2013.
- Annex 15, Aeronautical Information Services.* International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada, 2018.
- Aeronautical Information Services Manual.* International Civil Aviation Organization, ICAO Doc 8126, 2003.
- Bakó, Gábor – Szilágyi, Zsófia – Bagdi, Zsolt – Molnár, Zsolt – Göber, Eszter – Molnár, András: The GSD dependency of the eTOD photogrammetric survey. *CEAS Aeronautical Journal*, 11. (2020), 1. 137–143. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13272-019-00407-z>
- EUROCONTROL Specification for Electronic Aeronautical Information Publication.* EUROCONTROL-SPEC – 146, 2015.
- Guidelines for Electronic Terrain, Obstacle and Aerodrome Mapping Information.* ICAO Doc 9881.
- Terrain and obstacle data collection surfaces.* International Civil Aviation Organization, 2017. Elérhető: www.researchgate.net/figure/Obstacle-Limitation-Surfaces-OLS-Source_fig3_309358595. (A letöltés dátuma: 2019. 02. 09.)
- Terrain and obstacle data manual.* European Organization for the Safety of Air Navigation, Brussels, Eurocontrol, 2015.
- World Geodetic System – 1984 (WGS-84) Manual.* International Civil Aviation Organization, ICAO Doc 9674, 2002.